

**Photo-electric distance- and angle-measurement system for measuring the displacement of two objects with respect to each other****Patent number:** DE19527287**Publication date:** 1997-01-30**Inventor:** BURGSCHAT REINER DIPLOM ING (DE); WILLHELM JOERG PROF DR ING (DE)**Applicant:** ZEISS CARL JENA GMBH (DE)**Classification:****- international:** G01D5/38; G01D5/26; (IPC1-7): G01B11/00; G01B11/26; G01D5/38**- european:** G01D5/38**Application number:** DE19951027287 19950726**Priority number(s):** DE19951027287 19950726**Also published as:**

WO9705457 (A1)

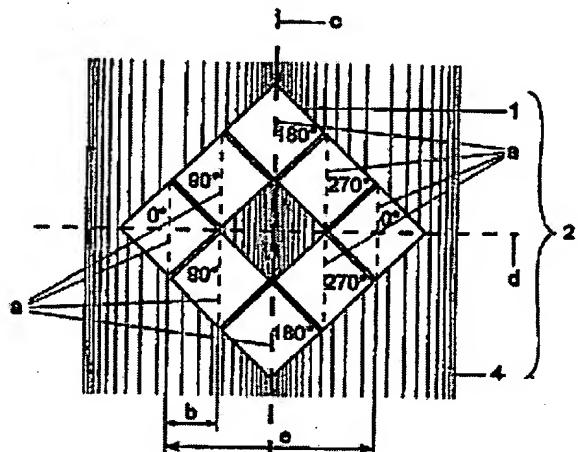
EP0804716 (A1)

US5841134 (A1)

EP0804716 (B1)

[Report a data error here](#)**Abstract of DE19527287**

The photo-electric distance- and angle-measurement system proposed for measuring the displacement of two objects with respect to each other consists of a number  $N = n \cdot 4$  of photodetectors (1) disposed in a matrix (2) in such a way that the diagonals (a) of the photodetectors (1) are parallel to the diagonal (c) of the photodetector matrix (2), the photodetectors (1), which detect the same phase relation, being electrically connected to each other and their signals being fed to a processing circuit.



---

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide



(19) BUNDESREPUBLIK

DEUTSCHLAND

DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

## (12) Patentschrift

(10) DE 195 27 287 C 2

(51) Int. Cl. 7:

G 01 B 11/00

G 01 B 11/26

G 01 D 5/38

(21) Aktenzeichen: 195 27 287.0-52

(22) Anmeldetag: 26. 7. 1995

(43) Offenlegungstag: 30. 1. 1997

(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 29. 6. 2000

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

## (73) Patentinhaber:

Dr. Johannes Heidenhain GmbH, 83301 Traunreut,  
DE

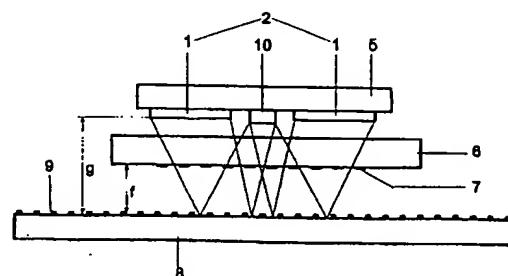
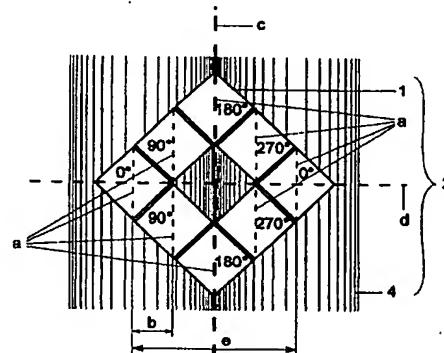
## (72) Erfinder:

Burgschat, Reiner, Dipl.-Ing., 07745 Jena, DE;  
Willhelm, Jörg, Prof. Dr.-Ing., 35580 Wetzlar, DE(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

DE	39 04 898 C2
DE	43 16 250 A1
DE	39 42 178 A1
DE	39 04 898 A1
DE	25 00 798 A1

## (54) Fotoelektrisches Weg- und Winkelmeßsystem zum Messen der Verschiebung zweier Objekte zueinander

(55) Fotoelektrisches Weg- und Winkelmeßsystem zum Messen der Relativverschiebung zweier Objekte zueinander, mit einer Lichtquelle, einem Referenzgitter und einem Maßstabgitter zur Erzeugung eines optischen Streifenbildes, insbesondere eines Moiré-Streifenmusters, mit quadratischen Fotoempfängern und mit einer Auswerteschaltung, wobei eine Anzahl von Fotoempfängern entsprechend  $N = n \cdot 4$  vorgesehen ist, worin N die Anzahl der Fotoempfänger und n eine gerade Zahl  $\geq 2$  bezeichnen, und wobei durch die Flächenschwerpunkte aller Fotoempfänger verlaufende Diagonale parallel zueinander liegen und Fotoempfänger gleicher Phasenlage elektrisch miteinander verbunden sind, dadurch gekennzeichnet, daß die parallel zueinander verlaufenden Diagonalen (a) auch parallel zu den Streifen (4) des optischen Streifenbildes angeordnet sind, wobei jeweils zwei nebeneinander liegende Diagonalen (a) einen gleichen Abstand (b) zueinander aufweisen und die ihnen zugeordneten Fotoempfänger (1) zueinander um eine Phasenlage von  $90^\circ$  versetzte Signale detektieren.



# DE 195 27 287 C 2

## Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf ein fotoelektrisches Weg- und Winkelmeßsystem zum Messen der Verschiebung zweier Objekte zueinander und ist beispielsweise für die Anwendung in Weg- und Winkelmeßsystemen geeignet.

5 Aus dem Stand der Technik sind Weg- und Winkelmeßsysteme nach den unterschiedlichsten Bauformen bekannt. In der Regel sind den Meßsystemen gemeinsam, daß ein in mehrere Felder geteiltes Referenzgitter über dem Maßstab oder der Kreisteilung angeordnet und die Teilung in den Feldern um jeweils 1/4 oder 1/3 der Teilungsperiode gegeneinander verschoben ist. Die den Feldern des Referenzgitters zugeordneten fotoelektrischen Detektoren liefern um 90° bzw. 120° phasenverschobene Signale, die in einer geeigneten Elektronik die Maßstabverschiebung oder Teilkreisdrehung richtungsabhängig erfassen.

10 So ist gemäß DE 39 04 898 C2 ein "Optischer Kodierer" beschrieben, der eine unkollimierte Lichtquelle, ein Referenzgitter zwischen Lichtquelle und Maßstabgitter sowie ein Referenzgitter zwischen Fotoempfänger und Maßstabgitter verwendet. Die beiden Referenzgitter liegen in einer Ebene. Das Referenzgitter zwischen den Fotoempfängern und dem Maßstabgitter ist in mehrere Felder unterteilt. Die Gitterteilung in den Feldern ist jeweils um je 1/4 der Teilungsperiode verschoben. Die den Referenzfeldern zugeordneten Fotoempfänger detektieren Signale mit Phasenlagen von 0°, 90°, 15 180° und 270°.

15 Dieser beschriebene Dreigittergeber ist aber empfindlich bei Verdrehung und Abstandsänderung des Meßkopfes zum Maßstab in bezug auf die Phasenlage der Empfängersignale.

20 Des weiteren ist eine Einrichtung zur Messung von Verschiebungen und Verdrehungen eines Körpers bekannt geworden, die matrixförmige Empfängeranordnungen verwenden, wobei die Referenzgitterfelder mit phasenverschobenen Gitterlinien zugeordnet sind und die statistisch zur Kompensation von Amplituden-, Phasen- und Teilungsfehlern zusammengeschaltet werden.

25 Diese Anordnung ist besonders für Durchlichtmeßsysteme mit kollimierter Beleuchtung geeignet, erfordern aber einen relativ hohen Fertigungsaufwand.

30 Aus der DE 25 00 798 A1 sind weitere verschiedene fotoelektrische Empfängeranordnungen zur Abtastung von Moiré-Streifen in Positionsmeßsystemen bekannt. Die dort offenbarten Fotoempfänger-Anordnungen stellen jedoch nicht sicher, daß im Fall eventueller Verdrehungen des Meßkopfes gegenüber dem Maßstab resultierende Phasenfehler kompensiert werden. In diesem Fall ergeben sich vielmehr Abtastsignale aus den verschiedenen Fotodetektoren, die nicht mehr die geforderten Phasenbeziehungen zueinander aufweisen.

35 Aus Fig. 11 der DE 39 42 178 A1 ist eine Anordnung von quadratischen Abtastfeldern in einer fotoelektrischen Winkelmeßeinrichtung bekannt, von der bei der Bildung des Oberbegriffes ausgegangen wurde. Die dort offenbarte Anordnung ist jedoch auf die automatische Kompensation eventueller Abtastfehler in einem rotatorischen Meßsystem ausgelegt, beispielsweise im Fall von vorliegenden Exzentrizitätsfehlern. Meßfehler, die durch Abstandsänderungen bzw. Verdrehungen des Meßkopfes gegenüber dem Maßstab verursacht werden, können mit dieser Anordnung nicht eliminiert werden.

40 Ausgehend von dem geschilderten Stand der Technik liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein fotoelektrisches Weg- und Winkelmeßsystem zum Messen der Verschiebung zweier Objekte zueinander zur Verfügung zu stellen, das unempfindlich gegenüber Abstandsänderungen und Verdrehung des Meßkopfes gegenüber dem Maßstab ist und zugleich einen sehr einfachen und kostengünstigen Aufbau ermöglicht.

45 Diese Aufgabe wird erfundungsgemäß durch ein gattungsgemäßes fotoelektrisches Weg- und Winkelmeßsystem mit den Merkmalen im kennzeichnenden Teil des Anspruches 1 gelöst.

Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung des erfundungsgemäßes fotoelektrischen Weg- und Winkelmeßsystem trifft das Licht der Lichtquelle 10, nachdem es das Referenzgitter 7 durchlaufen hat, von dem Maßstabgitter 9 reflektiert und das Referenzgitter 7 ein zweites mal durchläuft, auf die Fotoempfängermatrix 2.

50 Bei einer weiteren vorteilhaften Ausbildung der Erfindung werden die optischen Streifenbilder durch Einstellung eines Winkels  $\alpha$ , zwischen dem Referenzgitter 7 und dem Maßstabsgitter 9, wobei  $10^\circ > \alpha > 0^\circ$  ist, erzeugt.

Vorteilhafterweise ist die Lichtquelle in der Ebene der Fotoempfänger 1 oder auf der Fotoempfängermatrix 2 aufgesetzt angeordnet.

55 Es ist weiterhin von Vorteil, daß die Lichtquelle 10 als LED ausgebildet ist.

Bei einer weiteren bevorzugten Weiterbildung weist das Referenzgitter 7 gegenüber dem Maßstabsgitter 9 mindestens die zweifache Teilungsperiode (T) auf.

Mit der erfundungsgemäßen Lösung wird dem Anwender ein fotoelektrisches Weg- und Winkelmeßsystem zur Verfügung gestellt, mit dem ein einfacher und kostengünstiger Aufbau realisiert wird, der zugleich relativ unempfindlich gegenüber Abstandsänderungen und Verdrehungen des Meßkopfes gegenüber dem Maßstab ist.

55 Die Erfindung soll nachstehend anhand einer Prinzipdarstellung noch näher erläutert werden.

Es zeigen:

Fig. 1 eine Prinzipdarstellung der erfundungsgemäßen Anordnung

Fig. 2 eine Ausführungsform des Aufbaus der erfundungsgemäßen Anordnung

60 Die in Fig. 1 schematisch dargestellte Anordnung zeigt eine Fotoempfängermatrix 2, die aus einer Anzahl  $N = n \cdot 4$  aufgebauten Fotoempfänger 1 besteht, wobei N die Anzahl der Fotoempfänger und n eine gerade Zahl  $\geq 2$  bedeuten.

Vorteilhafte Anordnungen ergeben sich aber aus dem Aufbau einer Fotoempfängermatrix 2 mit 8, 24 oder 48 Fotoempfängern 1.

65 Die Fotoempfänger 1 sind schachbrettartig in einem Quadrat oder Rhombus angeordnet, wobei sich in der Mitte kein Fotoempfänger 1 befindet.

Zur Verdeutlichung der Funktionsweise ist ein optisches Streifenbild 4 hinterlegt, das z. B. als Moire durch Verdrehen des Referenzgitters gegenüber dem Maßstabsgitter um einen Winkel  $\alpha$  im Bereich  $10^\circ > \alpha > 0^\circ$  gewonnen wird.

Die Diagonale a, der Fotoempfänger 1 und die Diagonale c der Fotoempfängermatrix 2 liegen parallel zu dem optischen Streifenbild 4.

# DE 195 27 287 C 2

Alle Fotoempfänger **1**, mit gleicher dargestellter Phasenlage, deren Diagonale parallel zur Bezugssachse c verlaufen, ergeben eine Parallelenschar. Diese parallelen Fotoempfänger detektieren Signale mit + 90° oder -90° Phasenverschiebung, je nachdem, ob es die Fotoempfänger der rechten oder linken benachbarten Parallelen der Diagonale a im Abstand b sind.

Somit ist beispielsweise das Fotoempfängerpaar 90°, die für die Phasenlage 90° verantwortlich sind (dargestellt als Fotoempfänger mit 90°) elektrisch miteinander verbunden. 5

Alle Fotoempfänger **1**, die Signale mit gleicher Phase detektieren, werden in der Fotoempfängermatrix **2** oder in der Auswerteschaltung zusammengefaßt und es ergeben sich somit vier Signale, die jeweils zueinander 90° phasenverschoben sind.

Durch die Anordnung der Fotoempfänger **1** in der Fotoempfängermatrix **2** ist immer gewährleistet, daß zur Bildung eines Signales die gleiche Anzahl Fotoempfänger **1** beitragen und damit die Amplitude der vier Signale gleich ist. Der Abstand e der Fotoempfänger **1**, die auf der orthogonalen Diagonalen (**3**) zur Bezugssachse c der Fotoempfängermatrix **2** Signale mit gleicher Phasenlage detektieren, bestimmt den optischen Streifenabstand der Moiré- oder Interferenzstreifen. 10

Die vorstehend beschriebene Anordnung der Fotoempfängermatrix hat eine hochgradig phasenkompensierende Wirkung. Eine Verdrehung des optischen Streifenbildes zur Fotoempfängermatrix hat keine Phasenänderung der Signale zur Folge, lediglich die Amplitude der Signale verändert sich. Eine Veränderung des optischen Streifenabstandes bewirkt auch keine Phasenfehler der Signale, sondern nur eine Amplitudenänderung. 15

Dies ist für eine Interpolation der Signale von Bedeutung, da bei üblichen Interpolationsverfahren zur Auflösungserhöhung der Meßsysteme die Amplitudenänderungen der Signale nur unbedeutenden Einfluß auf die Meßgenauigkeit haben, aber Phasen- und Offsetfehler der Signale in hohem Maße die Meßgenauigkeit beeinträchtigen. 20

Die Fig. 2 zeigt eine schematische Ausführungsform des Aufbaus des erfundungsgemäßen fotoelektrischen Weg- und Winkelmeßsystems.

In dieser Schnittdarstellung sind die Fotoempfänger **1** der Fotoempfängermatrix **2** in einer Ebene mit der Lichtquelle 10 angeordnet. Die Lichtquelle 10, die z. B. als LED ausgebildet ist, strahlt diffuses Licht mit der Wellenlänge λ ab. 10

Das Licht der LED fällt auf ein Referenzgitter 7 mit einer Gitterkonstanten g2, das sich auf einem Trägersubstrat 6, z. B. Glas, befindet. Im Abstand f zu diesem Referenzgitter 7 ist ein Maßstabsgitter 9, das auf einem Maßstab 8 aufgebracht ist, angeordnet. Das Maßstabsgitter 9 ist ein Amplitudengitter oder ein Reflexionsgitter mit der Gitterkonstanten g1. 25

Der Abstand f ergibt sich aus den Gitterkonstanten g1 und g2, der Lichtwellenlänge λ der Lichtquelle 10, dem Fotoempfängerabstand e und dem Abstand g der Fotoempfängermatrix **2** und der Lichtquelle 10 zum Maßstabsgitter 9 nach folgender Beziehung 30

$$f = \frac{g_1 \cdot g_2}{\lambda} \cdot \cos(\arctan \frac{e}{4g})$$

35

Das reflektierte Licht vom Maßstabsgitter 9 passiert noch einmal das Referenzgitter 7 und fällt auf die Fotoempfänger 1. Das Referenzgitter 7 ist ein durchgehend stetig geteiltes Gitter. Die Gitterkonstante g2 ist vorzugsweise um den Faktor 2 größer als die Gitterkonstante g1, um einen hohen Wirkungsgrad zu erhalten. Das Referenzgitter 7 und das Maßstabsgitter 9 werden zur Erzeugung eines optischen Streifenbildes 4 gegeneinander um einen Winkel α verdreht. Der Winkel α ergibt sich aus der Gitterkonstanten g1 und dem Fotoempfängerabstand e nach der Funktion 40

$$\alpha = \arctan \frac{g_1}{e}$$

45

Dieser Drehwinkel α läßt sich auch gleich bei der Teilung des Referenzgitters 7 berücksichtigen.

## Patentansprüche

50

1. Fotoelektrisches Weg- und Winkelmeßsystem zum Messen der Relativverschiebung zweier Objekte zueinander, mit einer Lichtquelle, einem Referenzgitter und einem Maßstabsgitter zur Erzeugung eines optischen Streifenbildes, insbesondere eines Moire-Streifenmusters, mit quadratischen Fotoempfängern und mit einer Auswerteschaltung, wobei eine Anzahl von Fotoempfängern entsprechend  $N = n \cdot 4$  vorgesehen ist, worin N die Anzahl der Fotoempfänger und n eine gerade Zahl  $\geq 2$  bezeichnen, und wobei durch die Flächenschwerpunkte aller Fotoempfänger verlaufende Diagonale parallel zueinander liegen und Fotoempfänger gleicher Phasenlage elektrisch miteinander verbunden sind, dadurch gekennzeichnet, daß die parallel zueinander verlaufenden Diagonalen (a) auch parallel zu den Streifen (4) des optischen Streifenbildes angeordnet sind, wobei jeweils zwei nebeneinander liegende Diagonalen (a) einen gleichen Abstand (b) zueinander aufweisen und die ihnen zugeordneten Fotoempfänger (1) zueinander um eine Phasenlage von 90° versetzte Signale detektieren. 55

2. Fotoelektrisches Weg- und Winkelmeßsystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das optische Streifenbild (4) durch Einstellen eines Winkels α zwischen dem Referenzgitter (7) und dem Maßstabsgitter (9) erzeugt wird, wobei  $10^\circ > \alpha > 0^\circ$  ist.

3. Fotoelektrisches Weg- und Winkelmeßsystem nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Fotoempfänger (1) in Form einer Fotoempfängermatrix (2) angeordnet sind.

4. Fotoelektrisches Weg- und Winkelmeßsystem nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß in der Mitte der Fotoempfängermatrix (2) die Lichtquelle (10) angeordnet ist. 60 65

# DE 195 27 287 C 2

5. Fotoelektrisches Weg- und Winkelmeßsystem nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Lichtquelle (10) in der Ebene der Fotoempfänger (1) angeordnet ist.
6. Fotoelektrisches Weg- und Winkelmeßsystem nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Lichtquelle (10) auf der Fotoempfängermatrix (2) aufgesetzt angeordnet ist.
- 5 7. Fotoelektrisches Weg- und Winkelmeßsystem nach einem der Ansprüche 3, 4 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Fotoempfänger (1) in der Fotoempfängermatrix (2) in Form eines Quadrates oder eines Rhombus angeordnet sind, wobei sich jeweils in der Mitte kein Fotoempfänger (1) befindet.
8. Fotoelektrisches Weg- und Winkelmeßsystem nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Referenzgitter (7) gegenüber dem Maßstabgitter (9) mindestens die zweifache Teilungsperiode (T) aufweist.

10

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

**- Leerseite -**

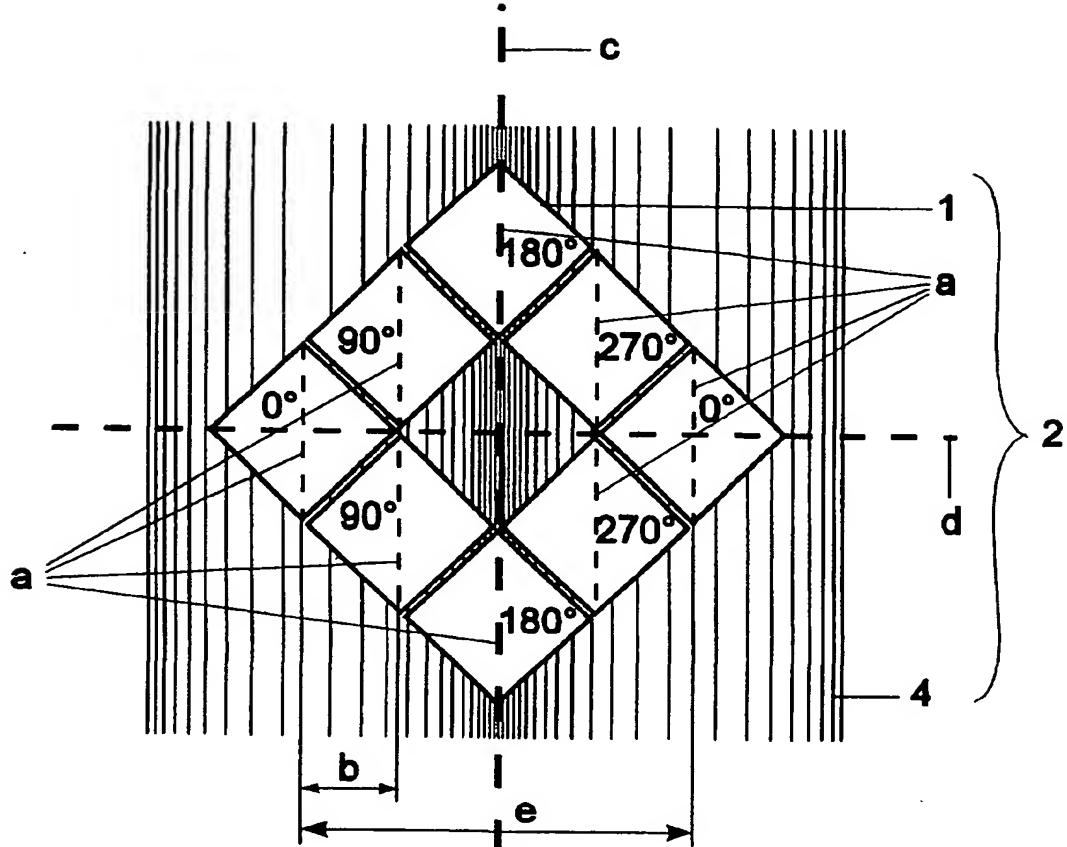


Fig. 1

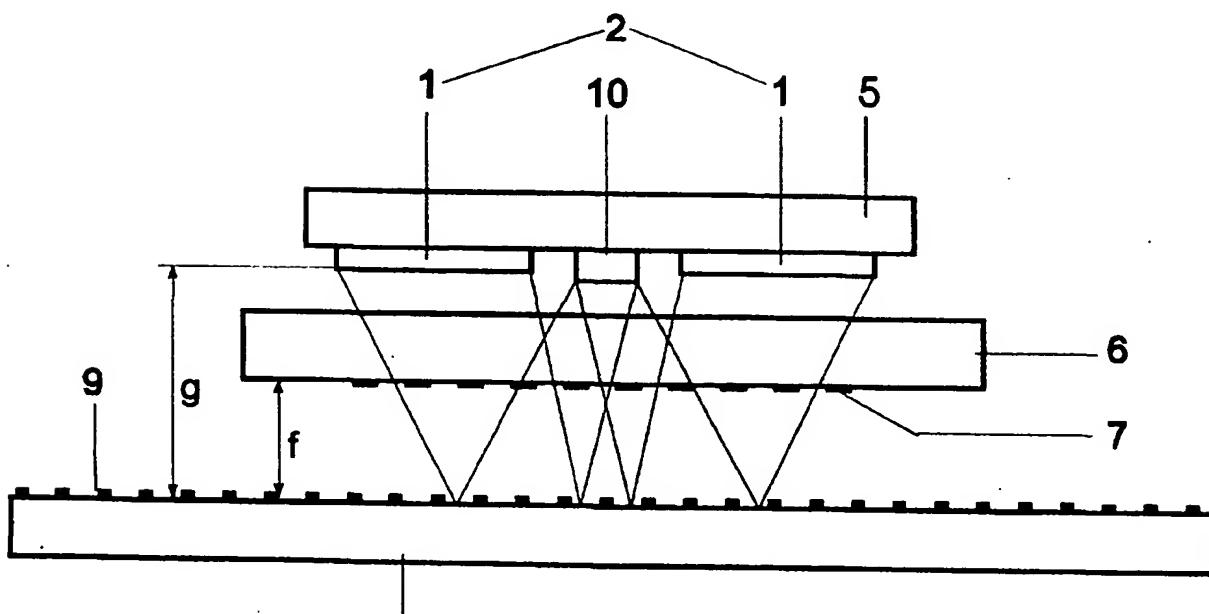


Fig. 2